

ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه لاین‌های نخود (*Cicer arietinum* L.)
در کشت زمستانه
Assessment of genotype×environment interaction effect on seed yield of chickpea
(*Cicer arietinum* L.) lines under rainfed winter planting conditions

همایون کانونی^۱، یداله فرایدی^۲، سید حسین صباغ پور^۳ و علی سعید^۴

چکیده

کانونی، ه.، ی. فرایدی، س.ح. صباغ پور و ع. سعید. ۱۳۹۵. ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر عملکرد دانه لاین‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) در کشت زمستانه. مجله علوم زراعی ایران. ۱۸(۱): ۷۵-۶۳.

هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد ارقام و لاین‌های نخود سفید و شناسایی ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار در شرایط متفاوت محیطی بود. در این آزمایش چهارده لاین و رقم نخود تیپ کابلی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار و در چهار ایستگاه تحقیقات کشاورزی کردستان، ارومیه، مراغه و همدان به مدت سه سال زراعی (۹۱-۱۳۸۸) در شرایط دیم مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به ترتیب در محیط‌های؛ ارومیه سال ۱۳۸۹ (U1) ۱۹۳۱/۲ کیلوگرم در هکتار) و همدان سال ۱۳۹۰ (H2) ۳۷۹/۱ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. از بین لاین‌های نخود مورد بررسی، بیشترین و کمترین میانگین عملکرد دانه به ترتیب به ژنوتیپ‌های G4 (۱۱۶۳/۵ کیلوگرم در هکتار) و G2 (۷۵۶/۰۲ کیلوگرم در هکتار) اختصاص داشت. تجزیه مرکب عملکرد دانه نشان داد که اثرات اصلی محیط و ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط معنی‌دار بودند. سهم محیط، ژنوتیپ و اثر متقابل آن‌ها در تغییرات عملکرد دانه به ترتیب ۷۰/۶۱، ۳/۲۰ و ۱۱/۲۱ درصد بود. مقدار GEI با استفاده از مدل بای پلات تفکیک شد و طبق تجزیه مقادیر منفرد، دو مولفه اصلی اول به ترتیب $PC1 = 43/09$ و $PC2 = 23/34$ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند. بر اساس نمودارهای GGE بای پلات، ژنوتیپ‌های G6، G4 و G11 از عملکرد دانه و پایداری بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند. نتایج این تحقیق، محیط‌ها را به دو ناحیه بزرگ شامل «ارومیه و مراغه» و «کردستان و همدان» تقسیم نمود که برای هر ناحیه به ترتیب لاین‌های G6 (FLIP 99-26C) و G4 (FLIP 00-39C) قابل توصیه هستند. همچنین ژنوتیپ‌های G5، G7 و G8 به عنوان لاین‌های دارای سازگاری عمومی شناسایی شدند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه پایداری، عملکرد دانه، نخود تیپ کابلی و GG بای پلات.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۰۸ این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی به شماره مصوب ۵۳-۱۵-۸۸۰۳۳ و گزارش نهایی به شماره فروست ۴۴۱۰۲ مورخ ۹۲/۰۹/۲۷ می‌باشد.

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سنج. عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده)

(پست الکترونیک: hkanouni@yahoo.com)

۲- مربی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، مراغه

۳- استاد مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان

۴- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، ارومیه

مقدمه

نخود سومین گیاه مهم از گروه حبوبات در جهان و مهم‌ترین آن‌ها در ایران است. سطح زیر کشت نخود در کشور حدود ۶۵۰ هزار هکتار است که از این سطح سالیانه حدود ۳۰۰ هزار تن نخود برداشت می‌شود (Ahmadi *et al.*, 2014). ایران رتبه هفتم جهانی را در تولید نخود پس از کشورهای هند، استرالیا، ترکیه، میانمار، پاکستان، و اتیوپی داراست (FAO, 2012).

کشاورزان نخود کار به ارقامی نیاز دارند که عملکرد بالایی داشته و این خصوصیت مطلوب را در دامنه وسیعی از شرایط محیطی و در خلال سال‌ها حفظ نمایند (Zali *et al.*, 2007). به منظور انتخاب بهترین ژنوتیپ برای محیط خاص و یا تعیین ژنوتیپ‌های پایدار در دامنه‌ای از محیط‌ها، ارقام و لاین‌های نخود در آزمایشات ناحیه‌ای ارزیابی شده و عملکرد دانه آنها در سال‌ها و مناطق مختلف مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

الگوی تغییرات صفات کمی پیوسته بوده و قابل انتساب به کنترل چند ژنی و عوامل محیطی هستند (Yan *et al.*, 2007). از آنجا که بخشی از بیان ژن در قالب محیط القاء و تنظیم می‌شود، آزمایش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف می‌تواند به شناسایی ژنوتیپ‌های برتر کمک کند. اثر متقابل ژنوتیپ×محیط، از یک طرف همبستگی بین اثرات ژنوتیپی و فنوتیپی و از طرف دیگر، پیشرفت گزینش ژنوتیپ‌ها را، به‌ویژه در شرایط تنش، کاهش می‌دهد (Kaya *et al.*, 2006; Yan and Tinker, 2006). تجزیه پایداری مهم‌ترین روشی است که برای پی بردن به ماهیت اثر متقابل ژنوتیپ×محیط مورد استفاده قرار می‌گیرد و با توجه به نتایج آن می‌توان ارقام پایدار و سازگار را شناسایی کرد. روش‌های مختلفی برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار ارائه شده است که شامل روش‌های یک متغیره و چند متغیره پارامتری و ناپارامتری هستند (Mohammadi *et al.*, 2012). اگرچه محاسبه و استفاده

از روش‌های یک متغیره پارامتری و ناپارامتری آسان است، ولی این روش‌ها نمی‌توانند ماهیت پیچیده و چند بعدی اثر متقابل را به خوبی تفسیر نمایند (Yan and Rajcan, 2002). برای رفع این مشکل استفاده از روش‌های چند متغیره پیشنهاد شده است.

واکنش متفاوت ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف همان اثر متقابل ژنوتیپ در محیط (GEI) است. برای فائق آمدن بر GEI، آزمایشات معمولاً در مکان‌ها و سال‌های متعدد اجرا می‌شوند تا اطمینان حاصل شود که ژنوتیپ‌های گزینش شده عملکرد بالا و با ثباتی در محیط‌های متفاوت دارند. داده‌های حاصل از این آزمایشات برای تعیین GEI به روش‌های مختلف تجزیه می‌شوند. مدل $\text{Genotype} + \text{Genotype} \times \text{Environment}$ (Interactions; GGE) یکی از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر برای ارزیابی بصری و تجزیه گرافیکی داده‌های آزمایشات چند منطقه‌ای از طریق ایجاد یک بای‌پلات ابداع شده است (Yan and Tinker, 2006). این مدل بر مبنای رسم دو مؤلفه اصلی اول (PC1 و PC2) حاصل از تجزیه مقادیر منفرد داده‌های با مرکزیت محیط استوار است. مدل GGE بای‌پلات، به طور همزمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها را ارزیابی کرده، محیط‌های مطلوب برای ژنوتیپ‌های خاص را تعیین نموده و محیط‌ها را به یک یا چند ناحیه بزرگ (Mega-environments) دسته بندی می‌کند. یک مگامحیط به گروهی از محیط‌ها گفته می‌شود که یک یا چند ژنوتیپ در آن مگامحیط بهترین عملکرد یا بالاترین واکنش محیطی را داشته باشند (Yan and Rajcan, 2002). روش GGE بای‌پلات توسط محققان متعددی در گیاهان زراعی مختلف برای تجزیه داده‌های آزمایشات ناحیه‌ای مفید و کاربردی تشخیص داده شده است (Pourdad and Jamshid-Moghaddam, 2012; Shiri and Bahrapour, 2015; Farshadfar *et al.*, 2012; Mortazavian *et al.*, 2014; Zali *et al.*, 2007).

در خصوص بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در

نخود دیم کشور تحقیقات نسبتاً زیادی صورت گرفته است (Farshadfar et al., 2012; Kanouniet al., 2007; Zaliet al., 2007). آزمایش حاضر با هدف استفاده از مدل GGE بای پلات برای ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و تعیین پایداری عملکرد دانه ۱۴ ژنوتیپ نخود سفید در شرایط محیطی غرب کشور انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی سه سال زراعی (۱۳۸۸-۹۱)

در چهار ایستگاه تحقیقات کشاورزی کردستان (سنندج)، ارومیه، مراغه و همدان به صورت دیم اجرا شد. شرایط اقلیمی محل‌های اجرای آزمایش در (جدول ۱) ارائه شده است. در این آزمایش ۱۳ ژنوتیپ نخود سفید همراه با رقم جم (به عنوان شاهد) (جدول ۲) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در ۱۲ محیط (چهار ایستگاه طی سه سال) مورد مطالعه قرار گرفتند. کاشت بذر با دست در نیمه دوم مهر ماه هر سال انجام شد.

جدول ۱- اطلاعات آب و هوایی و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های محل اجرای آزمایش (۱۳۸۸-۹۱)

Table 1. Meteorological and geographical information of experimental locations (2009-2012)

مکان Location	طول و عرض جغرافیایی Longitude & Latitude	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)	سال Year	کد Code	دما Temperature (°C)		بارندگی Precipitation (mm)
					حداقل Min.	حداکثر Max.	
Urmia ارومیه	37° 32' N 45° 05' E	1880	2009-10	U1	-15.28	36.25	498.10
			2010-11	U2	-11.18	34.25	351.40
			2011-12	U3	-21.53	35.77	263.20
Kurdistan کردستان	37° 32' N 45° 05' E	2120	2009-10	K1	-16.05	36.66	442.30
			2010-11	K2	-20.41	30.18	305.11
			2011-12	K3	-18.22	32.80	352.80
Maragheh مراغه	37° 32' N 45° 05' E	1720	2009-10	M1	-17.22	33.23	291.22
			2010-11	M2	-17.93	29.61	303.20
			2011-12	M3	-19.32	30.44	300.16
Hamedan همدان	37° 32' N 45° 05' E	1619	2009-10	H1	-15.64	32.09	298.93
			2010-11	H2	-16.19	31.38	309.37
			2011-12	H3	-14.24	31.44	333.05

عملیات زراعی شامل خاک‌ورزی و آماده سازی محل اجرای آزمایشات بطور یکنواخت برای تمامی ایستگاه‌ها انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل چهار خط چهار متری به فواصل ۳۰ سانتیمتر و فاصلهٔ بذور روی خط ۱۰ سانتیمتر بود. برداشت محصول پس از حذف حاشیه شامل دو ردیف کناری و ۲۵ سانتیمتر از ابتدا و انتهای هر کرت، از سطحی معادل ۲/۱ متر مربع انجام شد.

جدول ۲- نام، مبدا و کد ژنوتیپ‌های نخود مورد مطالعه

Table 2. Name, origin and code of chickpea genotypes

نام ژنوتیپ Genotype name	مبدا Origin	کد Code	ژنوتیپ Genotype	مبدا Origin	کد Code
FLIP 01-40C	ICARDA	G1	FLIP 02-512C	ICARDA	G8
SEL99 TH150454	ICARDA	G2	FLIP 00-84C	ICARDA	G9
FLIP 97-85C	ICARDA	G3	FLIP 01-9C	ICARDA	G10
FLIP 00-39C	ICARDA	G4	FLIP 01-18C	ICARDA	G11
FLIP 97-230C	ICARDA	G5	FLIP 98-15C	ICARDA	G12
FLIP 99-26C	ICARDA	G6	FLIP 99-45C	ICARDA	G13
FLIP 02-84	ICARDA	G7	JAM (Check)	Iran	G14

در U1 بیشترین عملکرد و لاین G10 با ۲۷۰/۴ کیلوگرم دانه در هکتار در M3 کمترین عملکرد را تولید کردند. لاین‌های G10 و G14 اثر متقابل متقاطع (Cross-over) نشان دادند، زیرا در یک محیط بیشترین و در محیط دیگر کمترین میزان عملکرد دانه را تولید کردند. از بین محیط‌های آزمایشی، بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه به ترتیب در محیط‌های U1 (۱۹۳۱/۲ کیلوگرم در هکتار) و H2 (۳۷۹/۱ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که دلالت بر تاثیر خاک، دما، نزولات و سایر شرایط محیطی بر عملکرد دانه داشت. بیشترین و کمترین ضریب تغییرات به ترتیب مربوط به مراغه در سال سوم (M3) و مراغه در سال اول (M1) بود. تجزیه واریانس ساده محیط‌ها نشان داد که به جز در مورد K2، M3 و H1، در بقیه محیط‌ها، تفاوت بین ژنوتیپ‌ها معنی دار بود (جداول ارائه نشده‌اند).

بر اساس تجزیه واریانس مرکب، اثرات اصلی محیط و ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط معنی‌دار بودند. محیط به‌تنهایی ۷۱ درصد از مجموع مربعات کل را تبیین کرد و به‌دنبال آن سهم اثر متقابل ژنوتیپ×محیط و اثر ژنوتیپ به ترتیب برابر با ۱۱ و ۳ درصد بود. اثر محیط به ترتیب ۶/۵ و ۲۳/۵ برابر اثرات GE و G بود، بنابراین محیط بیشترین تغییرات را در عملکرد دانه لاین‌های نخود ایجاد کرد. بزرگ بودن اثر محیط توسط تعداد زیادی از محققان در نخود و سایر گیاهان زراعی گزارش شده است (Shiri and Bahrapour, 2015; Farshadfar et al., 2012; Mehari et al., 2015; Mohammadi et al., 2012).

تفکیک اثر متقابل ژنوتیپ در محیط به‌وسیله روش GGE بای‌پلات نشان داد که دو مولفه اصلی اول (PC1 و PC2) به ترتیب ۴۳/۰۹ و ۲۳/۳۴ درصد و در مجموع ۶۶/۴۳ درصد از مجموع مربعات اثر متقابل GE را توجیه کردند (شکل ۱). تجزیه بای‌پلات می‌تواند محیط‌های آزمایشی را به چهار گروه دسته‌بندی کند. ژنوتیپ‌هایی که دارای PC1 بیشتر از

برای بررسی یکنواختی واریانس خطای آزمایش‌ها، آزمون بارتلت انجام شد، سپس با ثابت در نظر گرفتن اثر ژنوتیپ و تصادفی در نظر گرفتن اثر محیط، تجزیه واریانس مرکب صورت گرفت و در ادامه تجزیه GGE بای‌پلات بر اساس مدل زیر انجام گرفت (Yan and Tinker, 2006; Yan et al., 2007):

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{1i} \eta_{1j} + \lambda_2 \xi_{2i} \eta_{2j} + \varepsilon_{ij}$$

در رابطه فوق Y_{ij} میانگین ژنوتیپ i ام در محیط j ام، μ میانگین کل، β_j اثر محیط j ام، λ_1 و λ_2 مقادیر منفرد اولین و دومین مؤلفه اصلی (PC1 و PC2)، ξ_{1i} و ξ_{2i} بردارهای ویژه مربوط به i امین ژنوتیپ برای PC1 و PC2، η_{1j} و η_{2j} بردارهای ویژه j امین محیط برای PC1 و PC2 و بالاخره ε_{ij} باقیمانده یا خطای مدل هستند. تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ×محیط با استفاده از برنامه GenStat نسخه ۱۲ انجام و نمودارهای لازم رسم شدند (GenStat, 2010; Payne, 2009).

نتایج و بحث

میانگین عملکرد دانه لاین‌های نخود مورد بررسی در سال‌ها و مکان‌های آزمایشی در دامنه ۱۱۶۳/۵۰ کیلوگرم در هکتار برای لاین G4 تا ۷۵۶/۰۲ کیلوگرم در هکتار برای G14 (رقم شاهد) متغیر بود و بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار، لاین G4 برتری معنی‌داری نسبت به لاین‌های G2، G3، G13 و G14 داشت (جدول ۳). لاین G4 در محیط‌های K1، K2، K3 و M2، و لاین G9 در M3، U2 و H3 برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند. لاین G6 در دو محیط U1 و M1، و G10 و G14 به ترتیب در محیط‌های H2 و H1 بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند. بیشترین و کمترین مقدار نزولات به ترتیب در محیط‌های U1 و U3 به‌وقوع پیوست. محیط U3 به عنوان نامناسب‌ترین محیط شناسایی شد، زیرا کمترین میزان بارندگی و سردترین زمستان مربوط به ایستگاه ارومیه در سال سوم بود (جدول ۱). لاین G4 با ۲۱۱۵/۸ کیلوگرم دانه در هکتار

" ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر..."

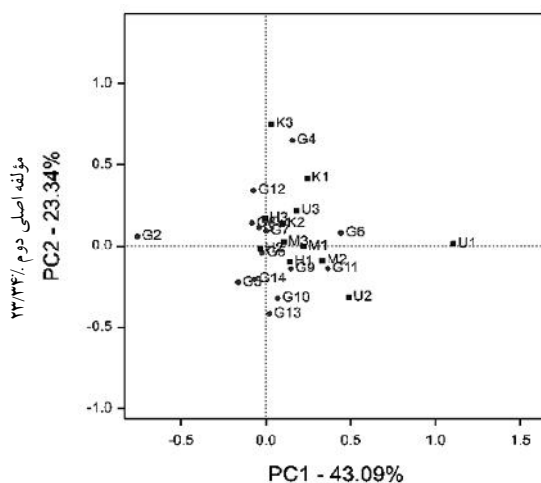
جدول ۳- میانگین عملکرد، مقدار احتمال و حداقل تفاوت معنی‌دار ژنوتیپ‌های نخود در ۱۲ محیط

Table 3. Mean seed yield, probability value and least significant difference of chickpea genotypes over 12 environments

میانگین عملکرد دانه (kg.ha ⁻¹) در محیط‌های آزمایشی														
میانگین عملکرد		Mean seed yield (kg.ha ⁻¹) at experimental environments												
Genotype	ژنوتیپ	Mean seed yield (kg.ha ⁻¹)	U1	U2	U3	K1	K2	K3	M1	M2	M3	H1	H2	H3
G1		982.33	2001.6	912.30	453.3	1490.1	885.9	1369.5	1290.8	812.5	501.7	1003.8	379.5	678.2
G2		756.02	837.6	452.3	515.1	1692.5	767.2	906.1	1142.1	518.8	285.1	724.3	407.9	823.5
G3		945.08	1625.7	1017.5	555.6	1540.3	702.8	834.3	1491.6	981.3	335.4	1017.1	459.7	780.1
G4		1163.50	2115.8	844.1	771.9	2170.5	1093.3	1728.7	1468.4	1112.5	349.6	1027.8	293.2	1049.8
G5		983.07	1936.2	1072.8	554.1	1782.6	838.5	951.3	1289.6	793.8	276.5	984.1	412.3	896.4
G6		1141.20	2625.9	1200.1	851.1	2045.3	887.1	1014.8	1640.2	918.8	493.2	973.1	383.4	662.1
G7		1015.70	1972.8	838.4	1140.3	1660.2	847.2	1014.4	1370.3	775.1	399.1	1126.3	289.4	745.9
G8		974.21	1934.4	689.1	641.1	1860.1	711.6	1059.9	1434.9	681.3	489.1	1035.1	362.1	792.1
G9		1111.30	1912.2	1523.2	746.9	1855.3	733.1	873.6	1466.1	1037.5	535.1	1119.2	247.9	1159.2
G10		994.64	2011.5	1257.5	429.3	1423.6	843.4	900.3	1446.6	1106.3	270.4	1113.3	499.5	625.4
G11		1069.50	2566.1	1109.2	695.2	1927.5	845.8	753.2	1376.1	1087.5	413.1	1018.3	379.4	662.4
G12		1051.00	1724.4	947.6	938.6	1902.5	778.4	1473.3	1342.3	881.3	349.1	1159.1	493.1	622.8
G13		945.14	1978.2	1122.9	707.9	1485.1	781.2	549.5	1285.7	987.5	357.4	1120.1	279.3	687.1
G14(check)		968.91	1794.5	923.9	495.4	1490.2	913.5	964.2	1554.7	962.5	400.3	1437.8	283.4	407.3
P value		0.003	0.001	0.001	0.001	0.038	0.057	0.001	0.001	0.008	0.115	0.232	0.001	0.002
LSD 5%		195.09	638.21	327.84	206.74	443.17	207.87	337.82	149.29	302.25	198.15	376.09	112.04	294.39
C.V (%)		23.15	23.11	26.24	21.31	17.87	17.51	22.97	7.46	23.38	35.51	24.78	20.67	27.18
Total mean (kg.ha ⁻¹)		1006.5	1931.2	993.6	678.3	1733.6	830.7	1208.1	1400.1	904.0	390.3	1016.3	379.1	757.2

لاین‌های G4، G6، G11 و G9 ژنوتیپ‌های پر محصول و برخی لاین‌ها از جمله G2، G3 و G14 ژنوتیپ‌های کم محصول بودند. مقادیر مطلق PC2 نشان دهنده پایداری ژنوتیپی

صفر باشند، به عنوان لاین‌های پر محصول و آن‌هایی که نمره PC1 آن‌ها کمتر از صفر باشد، به عنوان لاین‌های کم محصول شناخته می‌شوند (Mohamed and Ahmad, 2013)، بنابراین در این تحقیق



شکل ۱- بای پلات GGE بر اساس مقیاس بندی متمرکز بر ژنوتیپ برای عملکرد دانه ژنوتیپ‌های نخود

Fig. 1. GGE-biplot based on genotype focused scaling for seed yield of chickpea genotypes

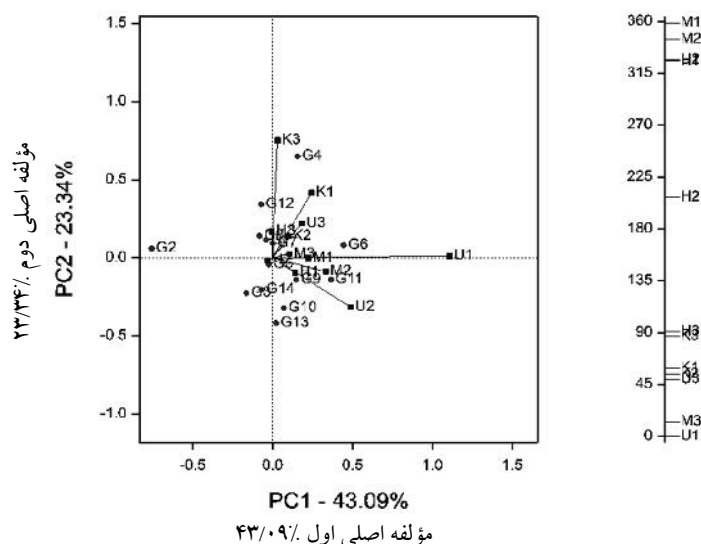
دیگر، مشابهت زیادی با هم داشتند، اما بیشترین همبستگی مثبت بین محیط‌های M1 و U1، H1 و U2، H3 و K3 وجود داشت و وجود همبستگی منفی بین محیط‌هایی مانند U2 و K3 با توجه به زاویه بیش از ۹۰ درجه بین بردارهای آن‌ها، قابل تشخیص است. بردار محیط K3 با بردار محیط‌های U1، M1 و M2 زاویه حدود ۹۰ درجه داشته که نشان دهنده عدم وجود همبستگی یا عدم وجود شباهت بین محیط K3 با سه محیط فوق است. گدیف و یگزاو (Gedif and Yigzaw, 2014)، محمد و احمد (Mohamed and Ahmad, 2013) و یان و راجکان (Yan and Rajcan, 2002) گزارش کردند که وجود رابطه نزدیک بین محیط‌های آزمایشی نشان دهنده اطلاعات مشابه در باره محیط‌ها است، به طوری که در صورت اجرای آزمایشات مشابه، می‌توان برای کاهش هزینه‌ها از تکرار آزمایش در محیط‌های مشابه جلوگیری کرد.

لاین‌های آزمایشی هستند (Kaya et al., 2006; Mohammadi et al., 2010). بر این اساس، در آزمایش حاضر لاین G6 بیشترین میزان پایداری را داشت و به دنبال آن لاین‌های G11 و G9 پایداری بیشتری نسبت به سایر لاین‌های نخود مورد بررسی داشتند.

در شکل ۲ مقیاس بندی بر مبنای محیط انجام شده و GGE بای پلات الگوی محیط‌ها را برآورد نموده است. برای به تصویر کشیدن روابط بین محیط‌ها، هر کدام از محیط‌ها با استفاده از یک خط به مرکز بای پلات وصل می‌گردد که بردارهای محیطی خوانده می‌شوند. کسینوس زاویه بین بردار دو محیط برای تقریب رابطه بین آن‌ها به کار می‌رود و زاویه کمتر از ۹۰ درجه بین بردارهای محیطی، نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین محیط‌های آزمایشی است (Yan and Tinker, 2006)، بنابراین محیط‌های U2، M2 و U1 از یک طرف و محیط‌های K3 و K1 از طرف

M2 به ترتیب متمایز کننده ترین محیط‌ها بودند و محیط M3 از کمترین قدرت تمایز برخوردار بود. سایر محیط‌های آزمایشی طول بردار نسبتاً برابری داشته و به عبارت دیگر توانایی تمایز مشابهی داشتند. محیط‌های دارای این خصوصیات همبستگی مثبتی با یکدیگر داشتند.

طول بردارهای محیطی، برآوردی از انحراف معیار درون هر محیط بوده و در واقع معیاری از قدرت تمایز محیط‌های آزمایشی است (Yan et al., 2007). بر همین اساس، در این تحقیق محیط‌های U1 و K3 طویل ترین بردار و بیشترین قابلیت تمایز را در بین محیط‌های آزمایشی داشتند. به دنبال این دو، محیط‌های U2، K1 و



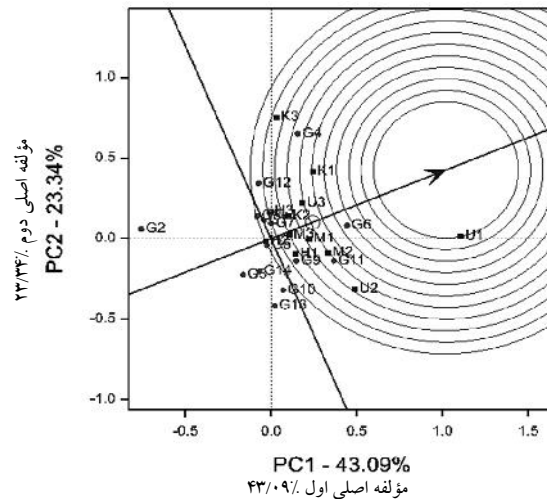
شکل ۲- نمودار بای پلات برای نشان دادن روابط بین محیط‌های آزمایشی (۹۱-۱۳۸۸)

Fig 2. Biplot diagram to show relationships between experimental environments (2009-2012)

بر محصول نخود شناسایی شدند. ضمناً مرکز دواير هم مرکز به عنوان محیط ایده آل در نظر گرفته شده و محیط U1 نزدیک ترین محیط به محیط ایده آل بوده و در میان محیط‌های مورد نظر از همه مطلوب تر شناخته شد.

در شکل ۴ میانگین عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌های آزمایشی از طریق رسم محور پایداری نشان داده شده است. در این شکل، محوری که با فلش نشان داده شده مشخص کننده پایداری است و هر لایینی که به این محور نزدیکتر باشد، پایداری است. محور عمود بر آن که ATC نامیده می شود، شاخصی است که میانگین عملکرد ژنوتیپ‌های آزمایشی را با متوسط کل مقایسه می کند (Yan and Tinker, 2006).

در شکل ۳ بای پلات مقایسه محیط‌های آزمایشی ارائه شده است. مختصات محیط متوسط (AEC) خطی است که از محیط متوسط و مبداء مختصات بای پلات عبور می کند (در شکل با دایره کوچک نشان داده شده است). هرچه زاویه بین محیط آزمایشی با محور AEC کوچک تر باشد، نماینده بودن آن بیشتر از سایر محیط‌های آزمایشی است (Mohammadi et al., 2012). چنانچه ملاحظه می شود، U1 و K1 بیش از سایر محیط‌های آزمایشی نماینده بودند. از آنجا که این دو محیط بر اساس شکل ۲، هم قدرت تمایز بیشتری از سایر ژنوتیپ‌ها داشته و هم خاصیت نماینده بودن را دارند، این محیط‌ها به عنوان محیط‌های آزمایشی مناسب برای گزینش لاین‌های سازگار و

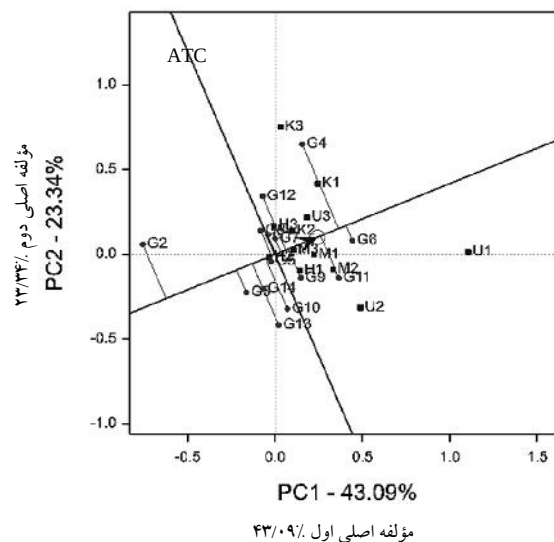


شکل ۳- بای پلات رسم شده بر اساس مقیاس بندی متمرکز بر محیط برای مقایسه محیط‌های آزمایشی با محیط مطلوب

Fig. 3. Biplot drawn based on environment focused scaling to compare experimental environments with an ideal environment

پایداری بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بودند. لاین‌های G4، G6 و G11 میانگین عملکرد بیش از متوسط و لاین‌های G2، G4، G14 میانگین عملکرد کمتر از متوسط داشتند. از بین این ژنوتیپ‌ها، لاین G6 به عنوان پرمحصول‌ترین و پایدارترین ژنوتیپ

لاین‌های موجود در سمت راست محور ATC دارای عملکرد دانه بالاتر از متوسط و لاین‌های واقع در طرف چپ این محور، میانگین عملکرد کمتر از متوسط دارند، بنابراین ژنوتیپ‌هایی مانند G6، G11 و G9 که با خط کوتاه‌تری به محور پایداری وصل شده‌اند، دارای



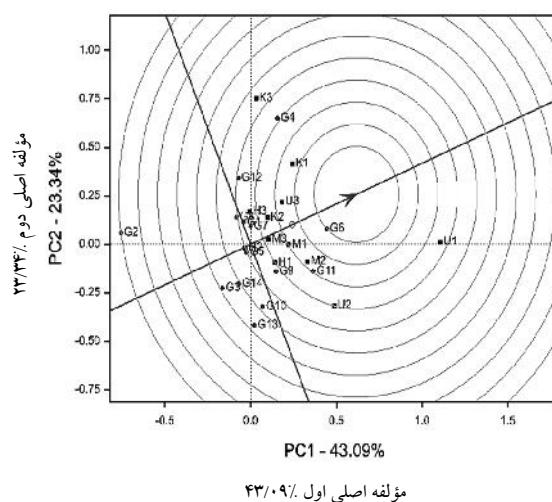
شکل ۴- گزینش هم‌زمان برای عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ‌های نخود دیم در محیط‌های مختلف

Fig 4. Simultaneous selection for seed yield and stability of chickpea genotypes at different environments

شناخته شد. لاین G2 به عنوان کم‌محصول‌ترین ژنوتیپ با پایداری ضعیف شناخته شد. از طریق این بای پلات

گذشته و با یک پیکان مشخص می گردد. محور عمود بر آن (AEC)، وضعیت عملکرد ژنوتیپ ها را در مقایسه با میانگین کل مشخص می کند. از بین ژنوتیپ های پر محصول، آن که بیشترین طول بردار را داشته و کمترین سهم را در اثر متقابل ژنوتیپ در محیط داشته باشد، ژنوتیپ مطلوب فرضی خوانده می شود (Mohamed and Ahmad, 2013; Yan *et al.*, 2007). شکل ۵ نشان می دهد که G6 نزدیک ترین ژنوتیپ به ژنوتیپ مطلوب (وسط دوائر هم مرکز) است. پس این لاین از سایر ژنوتیپ های آزمایشی مطلوب تر است.

می توان ژنوتیپ های با عملکرد بالا ولی با پایداری متوسط یا ضعیف (مانند لاین G4) را برای محیط های ویژه گزینش کرد. این ژنوتیپ سازگاری اختصاصی بسیار خوبی به محیط کردستان (K1 و K3) نشان داد. در شکل ۵ لاین های آزمایشی با ژنوتیپ مطلوب فرضی مقایسه شده اند. ژنوتیپ مطلوب، ژنوتیپی است که ضمن داشتن پایداری در طول محیط ها، واجد بیشترین میانگین عملکرد دانه نیز باشد (Farshadfar *et al.*, 2012). محور ژنوتیپ مطلوب از مبدا مختصات بای پلات و مرکز دوائر هم مرکز



شکل ۵- بای پلات رسم شده بر اساس مقیاس بندی متمرکز بر ژنوتیپ برای مقایسه ژنوتیپ های نخود آزمایشی با ژنوتیپ مطلوب

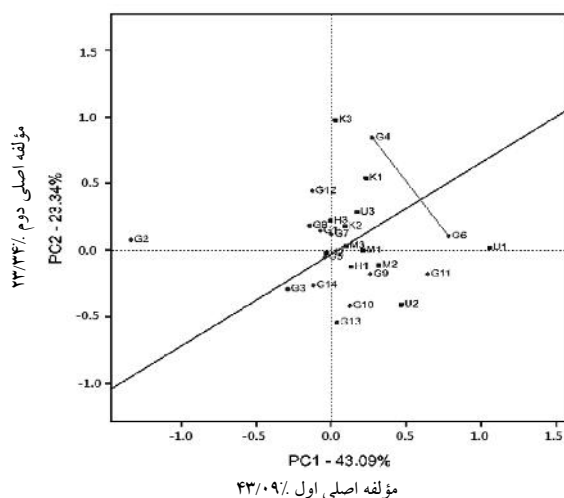
Fig 5. Biplot drawn according to genotype focused scaling for comparison of chickpea genotypes with an ideal genotype

می کند. ملاحظه می شود که لاین G6 در همه سال ها در مراغه (M1، M2 و M3)، در سال های اول و دوم در ارومیه (U1 و U2) و در سال اول در همدان (H1) مطلوب ترین ژنوتیپ و لاین G4 در سه سال در کردستان (K1، K2 و K3)، همدان در سال های دوم و سوم (H2 و H3) و ارومیه در سال سوم (U3)، ژنوتیپ برتر بودند. از آنجا که عملکرد حاصل از محیط هایی مانند U1، U2، M1 و M2 بالاتر از متوسط محیط ها بود (جدول ۲)، می توان نتیجه گرفت که لاین G6

در GGE بای پلات، نمود دو ژنوتیپ از طریق رسم خط برابری (Equality line) با وصل کردن آنها به یکدیگر با یک خط راست و رسم یک خط عمود بر آن که از مبدا بای پلات بگذرد، قابل مقایسه هستند (Mehari *et al.*, 2015). در شکل ۶، دو لاین G4 و G6 که بیشترین عملکرد دانه را در میانگین محیط ها داشتند با یکدیگر مقایسه شده اند و خط برابری، محیط هایی را که در آن G4 دارای عملکرد بهتری است، از محیط هایی که در آن ها G6 عملکرد بالاتری دارد، جدا

می‌کند تا اثرات متقابل متقاطع و غیر متقاطع را از یکدیگر تشخیص داده و محیط‌های کلان (Mega environments) را در آزمایشات ناحیه‌ای تعیین

سازگاری بهتری نسبت به لاین G4 در مناطق با پتانسیل بالا داشته است. چندضلعی GGE بای پلات به اصلاحگر کمک



شکل ۶- مقایسه لاین‌های نخود G4 و G6 بر اساس عملکرد دانه در محیط‌های مختلف

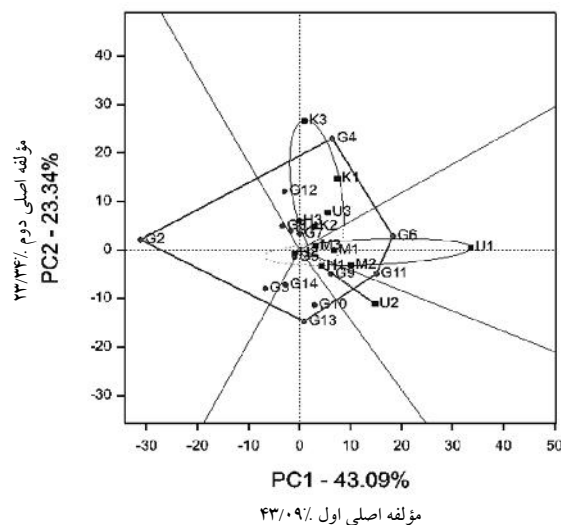
Fig 6. Comparing two chickpea genotypes, G4 and G6 according to their seed yield at different environments

محیطی کلان دوم، محیط‌های مراغه در هر سه سال (U1) قرار داشتند و ارومیه در سال اول (M1, M2, M3) و ژنوتیپ برتر و پایدار در این گروه، لاین G6 یا FLIP 99-26C بود. گروه سوم شامل محیط‌های ارومیه در سال دوم (U2) و همدان در سال اول (H1) بود و لاین FLIP 00-84C (G9) بالاترین عملکرد دانه را در این گروه محیطی کسب کرد.

ژنوتیپ‌های G13 (FLIP 99-45C) و G2 (SEL99TH150454) در هیچ کدام از محیط‌ها برتر نبودند. بعضی از ژنوتیپ‌ها مانند G3، G5، G7، و G14 که در نزدیکی مرکز بای پلات قرار داشتند، دارای عملکرد متوسط و سازگاری عمومی در تمامی محیط‌های آزمایشی بودند. بر اساس شکل ۷، دو محیط کلان شامل ارومیه+مراغه و کردستان+همدان در مناطق سردسیر غرب و شمال غرب کشور مشخص شدند و این دو محیط به خوبی با توزیع جغرافیایی مکان‌ها مطابقت داشتند.

نمایند (Mortazavian *et al.*, 2014; Yan and Tinker, 2006). در شکل ۷ نمایش چند ضلعی برای آزمایش حاضر شامل ۱۴ ژنوتیپ نخود در ۱۲ محیط نشان داده شده است. در این شکل، ژنوتیپ‌های G2، G4، G6، G11 و G13 که رئوس چند ضلعی را تشکیل دادند، بیشترین فاصله را از مرکز بای پلات داشتند و بهترین یا ضعیف‌ترین لاین‌ها در محیط‌های مربوط به خود بودند. بقیه ژنوتیپ‌ها در داخل چند ضلعی قرار گرفتند. خطوطی که از مبدا مختصات عمود بر اضلاع چند ضلعی رسم شده‌اند، گروه‌های محیطی و یا محیط‌های کلان را مشخص می‌کنند. بطوری که ملاحظه می‌شود، در این آزمایش محیط‌ها به ۲ گروه محیطی کلان و یک گروه محیطی تقسیم شدند. گروه محیطی کلان اول شامل محیط‌های کردستان در هر سه سال (K1, K2, K3)، ارومیه در سال سوم (U3) و همدان در سال سوم (H3) بود که ژنوتیپ G4 (FLIP 00-39C) بیشترین و با ثبات‌ترین عملکرد را در این گروه داشت. در گروه

"ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بر..."



شکل ۷- الگوی تناسب ژنوتیپ برای محیط در چهارده لاین نخود مورد ارزیابی در ۱۲ محیط آزمایشی

Fig 7. Which won where pattern for 14 chickpea genotypes studied at 12 experimental environments

نتیجه گیری

در این آزمایش که با هدف بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × محیط در ژنوتیپ های نخود تیپ کابلی در کشت زمستانه دیم در غرب و شمال غرب کشور انجام شد، اثرات اصلی ژنوتیپ و محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط معنی دار بودند و محیط بیشترین تغییرات را در عملکرد دانه ایجاد کرد. ژنوتیپ های G6، G4 و G11 به ژنوتیپ مطلوب نزدیک تر بودند و بنابراین

می توان از آن ها به عنوان شاهد برای ارزیابی ژنوتیپ های نخود سفید در مناطق مورد نظر استفاده کرد. ژنوتیپ G6 بهترین لاین در گزینش همزمان برای عملکرد و پایداری بود. برای کشت پاییزه دیم نخود، دو محیط کلان شامل «مراغه و ارومیه» و «کردستان و همدان» تعیین شدند که به ترتیب برای ژنوتیپ های G6 (FLIP 99-26C) و G4 (FLIP 00-39C) قابل توصیه هستند.

References

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, K., H. Gholizadeh, H. Ebadzadeh, R. Hoseinpour, F. Hatami, Z. Mohiti, B. Fazli and M. Rafiei. 2014. Agricultural year book (2012-2013), Vol. 1. Ministry of Jihad-e-Agriculture, <http://www.maj.ir/portal/File/ShowFile.aspx?ID=6f66d3e3-0884-4823-b12d-6319a2edad84>.
- FAO. 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- Farshadfar, E., M. Rashidi, M.M. Jowkar and H. Zali. 2012. GGE Biplot analysis of genotype × environment interaction in chickpea genotypes. Europ. J. Exp. Biol. 3(1):417-423.
- Gedif, M. and D. Yizaw. 2014. Genotype by environment interaction analysis for tuber yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) using a GGE Biplot method in Amhara region, Ethiopia. Agric. Sci. 5: 239-249.
- GenStat. 2010. Genstat Procedure Library Release PL22.1. 12th Edition, VSN International Ltd., Hemel Hempstead.

- Kanouni, H., A. R. Taleei and M. Khalily. 2007.** Stability analysis of seed yield and one-hundred seeds weight in Desi type chickpea genotypes. *Seed Plant J.* 23(3): 297-310. (In Persian with English abstract).
- Kaya, Y., M. Akcura and S. Taner. 2006.** GGE-Biplot analysis of multi-environment yield trials in bread wheat. *Turk. J. Agric. Forest.* 30: 325-337.
- Mehari, M., M. Tesfay, H. Yirga, A. Mesele, T. Abebe, A. Workineh and B. Amare. 2015.** GGE biplot analysis of genotype-by-environment interaction and grain yield stability of bread wheat genotypes in South Tigray, Ethiopia. *Commun. Biometry Crop Sci.* 10: 17-26.
- Mohamed, N. E. and A. A. Ahmed. 2013.** Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) and GGE-biplot analysis of genotype $\times$ environment interactions for grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Afr. J. Agric. Res.* 8: 5197-5203.
- Mohammadi, R. R. Haghparast, A. Amri and S. Ceccarelli. 2010.** Yield stability of rainfed durum wheat and GGE biplot analysis of multi-environment trials. *Crop Pasture Sci.* 61: 92-101.
- Mohammadi, R., M. Armion, E. Zadhasan, M. M. Ahmadi and D. Sadeghzadeh Ahari. 2012.** Genotype $\times$ environment interaction for grain yield of rainfed durum wheat using the GGE biplot model. *Seed Plant Improv. J.* 28-1(3): 503-518. (In Persian with English abstract).
- Mortazavian, S. M., M. NikKhah, H. R. Hassani, F. A. Sharif-al-Hosseini, M. Taheri and M. M. Mahlooji. 2014.** GGE-biplot and AMMI analysis of yield performance of barley genotypes across different environments in Iran. *J. Agric. Sci. Technol.* 16: 609-622.
- Payne, R.W. 2009.** GenStat. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics.1: 255-258.
- Pourdard, S. S. and M. Jamshid-Moghaddam. 2012.** Study on genotype $\times$ environment interaction through GGE biplot in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *J. Crop Prod.Process.* 6(2): 99-107. (In Persian with English abstract).
- Shiri, M. R. and T. Bahrapour. 2015.** Genotype $\times$ environment interaction analysis using GGE biplot in grain maize (*Zea mays* L.) hybrids under different irrigation conditions. *Cereal Res.* 5(1):83-94. (In Persian with English abstract).
- Yan, W. and I. Rajcan. 2002.** Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Sci.* 42: 11-20.
- Yan, W. and N. A. Tinker. 2006.** Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Can. J. Plant Sci.* 86: 623-645.
- Yan, W., M.S. Kang, S. Woods and P.L. Cornelius. 2007.** GGE Biplot vs AMMI analysis of genotype by environment data. *Crop Sci.* 47: 643-655.
- Zali, H., S. Sabaghpour, E. Farshadfar, P. Pezeshkpour, M. Safikhani, R. Sarparast and A. Hashembeigi. 2007.** Stability analysis of yield in chickpea genotypes by additive main effects and multiplicative interaction (AMMI). *J. Crop Prod. Process.* 11(42):173-180. (In Persian with English abstract).

Assessment of genotype×environment interaction effect on seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines under rainfed winter planting conditions

Kanouni, H.¹, Y. Farayedi², S. H. Sabaghpour³ and A. Saeid⁴

ABSTRACT

Kanouni, H., Y. Farayedi, S. H. Sabaghpour and A. Saeid. 2016. Assessment of genotype×environment interaction effect on seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines under rainfed winter planting conditions. **Iranian Journal of Crop Sciences.** 18(1):63 -75. (In Persian).

To investigate the effect of genotype, environment, and their interaction on seed yield of Kabuli type chickpea lines and identifying lines with high seed yield seed yield stability under different environmental conditions a field experiment was carried out. The experiment was conducted using fourteen chickpea genotypes in randomized complete block design with four replications in four agricultural research stations i.e. Urmia, Kurdistan, Maragheh and Hamedan during three successive cropping seasons (2010-2013) in winter planting under rainfed conditions. The highest average seed yield ($1931.2 \text{ kg.ha}^{-1}$) was obtained at Urmia in 2011 and the lowest (379.1 kg.ha^{-1}) was at Hamedan in 2012. The highest and lowest average seed yield obtained in G4 ($1163.5 \text{ kg.ha}^{-1}$) and G2 ($756.02 \text{ kg.ha}^{-1}$), genotypes, respectively. Combined analysis of variance indicated that the main effect due to environments (E), genotypes (G), and genotype × environment interaction (GEI) were highly significant. The contribution of E, G, and GEI to the total variation in seed yield was about 70.61%, 3.20% and 11.21%, respectively. The GEI was partitioned using GGEbiplot model. According to singular value partitioning, the first two principal components explained PC1=43.09% and PC2=23.34% of total variations in data of seed yield. On the basis of GGE biplots, G6, G4 and G11 had high seed yield and yield stability as compared to the other genotypes. Results of this experiment divided environments to two distinct mega-environments including "Urmia and Maragheh" and "Kurdistan and Hamedan", which G6 (FLIP 99-26C) and G4 (FLIP 00-39C) can be recommended for each mega environment, respectively. In addition, G5, G7, and G8 identified as genotypes with wide adaptation for the four environments.

Key words: Seed yield, Kabuli chickpea, Stability analysis and GG Biplot.

Received: 22 December, 2015

Accepted: 28 May, 2016

1- Assistant Prof., Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Kurdistan Province, Sanandaj, Iran.

Corresponding author) (Email: hkanouni@yahoo.com)

2- Faculty member, Dryland Agricultural Research Institute, Maragheh, Iran

3 -Professor, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Hamedan Province, Hamedan, Iran

4 -Assistant Prof., Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of West Azabaijan Province, Urmia, Iran